

*Colloque Forêt, vent, risque*  
*GIP ECOFOR*  
*16 et 17 mars 2005*

# Gestion du risque

## Approche intégrée : modélisation

**C. Meredieu, A. Stokes, V. Cucchi**  
INRA - EPHYSE / UMR LRBB  
69 route d'Arcachon, 33612 Cestas cedex



## Projet de recherche coordonné par le GIP ECOFOR

### CAPFORET

**Prédiction de la résistance mécanique de l'arbre au vent : développement d'un système d'expertise destiné aux forestiers par le *couplage* ForestGALES/CAPSIS**

#### 🐼 Projet coordonné par :

- C. Meredieu (UR EPHYSE - INRA)
- A. Stokes (UMR LRBB – INRA/CNRS/UB1)

#### 🐼 Durée : 2 ans (2002-2004)

#### 🐼 Partenaires associés

- AFOCEL Sud-Ouest (M. Najjar)
- CDGA / Université Bordeaux 1 (A. Denis)
- UMR AMAP (F. de Coligny)
- Cemagref Grenoble (B. Courbaud)

#### 🐼 Expert associé

- Forestry Research (GB) (B.A. Gardiner)

#### 🐼 Développer un **système d'expertise** de la **stabilité au vent** des peuplements forestiers destiné aux **gestionnaires** de peuplements de Pin maritime dans les Landes de Gascogne

## Le risque lié au vent

ALEA



### Intensité du phénomène

- Estimation de la probabilité des vents violents (Topex)
- Scores de vent
  - Windthrow Hazard Classification (WHC)
  - Detailed Aspect Method of Scoring (DAMS)
- Modèles numériques



### Probabilité d'occurrence

Le risque lié au vent :



## Évaluation de la sensibilité

- **Indicateurs de stabilité** : coefficient de forme H/D
  - **«Zones» de stabilité**
  - **Classification géographique** du risque de dégâts
  - Modèles **probabilistes**
  - Modèles **déterministes**
- ↳ calcul **mécaniste** de la sensibilité au vent d'un peuplement de caractéristiques données

Apporter des éléments  
d'**aide aux gestionnaires**



## 1 - Phase observatoire

### **Dégâts de tempête**

- Influence de la sylviculture
- Disparités intra-peuplement dans la résistance au vent



## 2 - Phase expérimentale

### **Etude de l'ancrage**

- Influence du sol
- Influence de l'exposition aux vents dominants

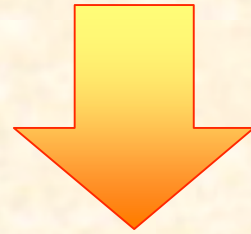
## 3 - Modélisation de la résistance au vent



**Modèle empirique d'ancrage**

# ***ForestGALES***

Prédit des **vitesse**s critiques de vent



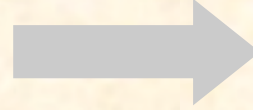
Pour des peuplements monospécifiques et équiennes  
Implémenté sous une plate-forme de simulation



But : **Adapter ce modèle au Pin maritime**  
cultivé dans les Landes de Gascogne

Définir l'**ancrage** pour les conditions sylvicoles  
rencontrées sur le massif

Apporter des éléments  
d'aide aux gestionnaires



## 1 - Phase observatoire

### Dégâts de tempête

- Influence de la sylviculture
- Disparités intra-peuplement dans la résistance au vent



## 2 - Phase expérimentale

### Etude de l'ancrage

- Influence du sol
- Influence de l'exposition aux vents dominants

3 - Modélisation de la  
résistance au vent



Modèle empirique d'ancrage

### Sélection de peuplements sur 2 types de stations :

#### Lande humide

- forte présence d'une couche d'aliOS  
= système racinaire **limité**



#### Lande sèche

- aliOS moins présent ou absent  
= système racinaire **moins limité**

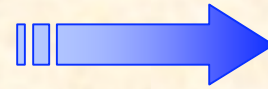


**Hypothèse : la présence d'aliOS influence la résistance mécanique**

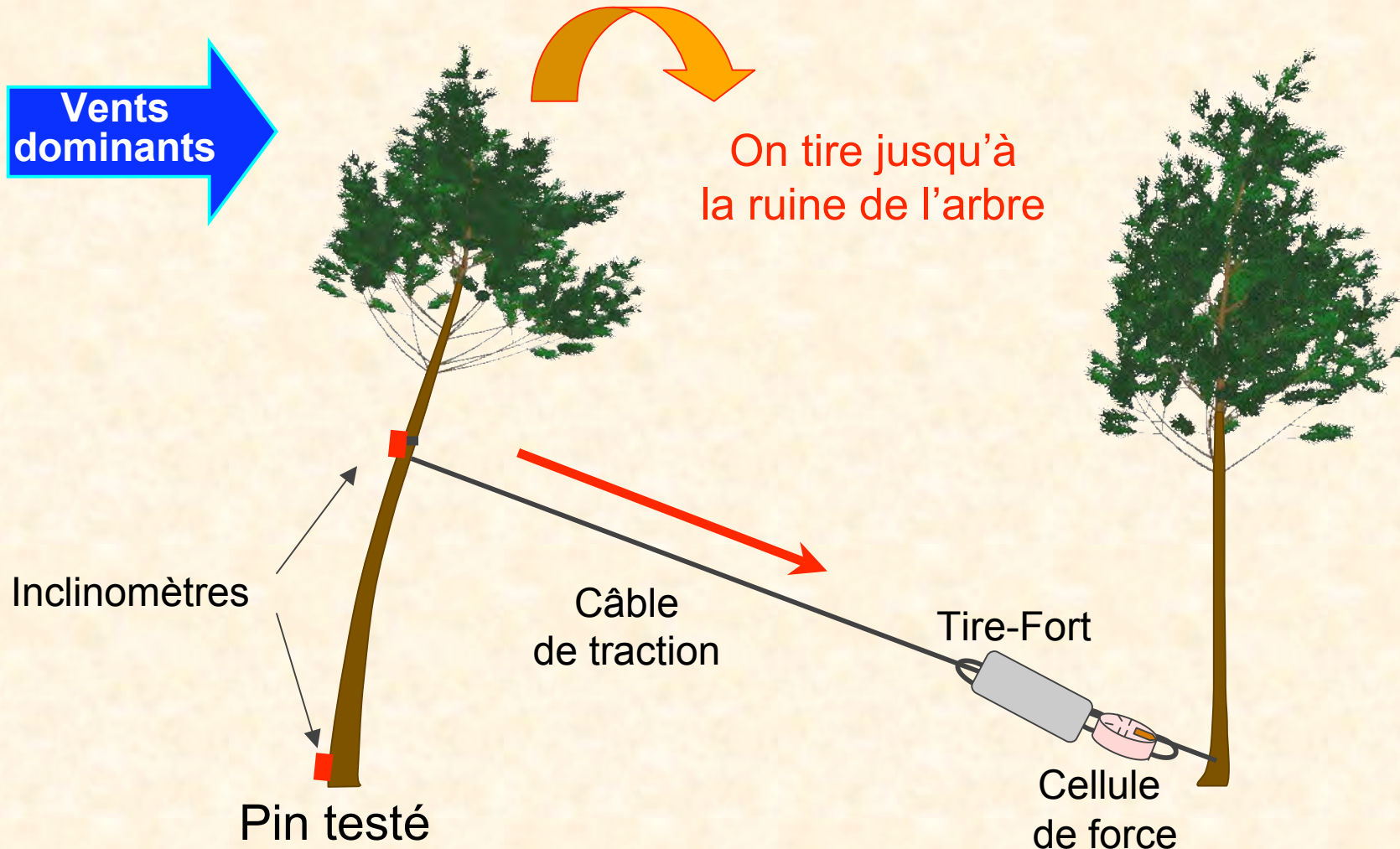


## Expérimentation *in situ* de l'ancrage racinaire

Essais de flexion statiques



Résistance mécanique  
de l'ancrage racinaire



On tire jusqu'à  
la ruine de l'arbre

Inclinomètres

Câble  
de traction

Tire-Fort

Cellule  
de force

Pin testé

## Expérimentation *in situ* de l'ancrage racinaire

### Paramétrisation de différents modèles

### Expérimentation : essais de flexion et mesures dendrométriques

#### • Test de résistance à l'arrachage pour des pins :

• avec ou sans alios

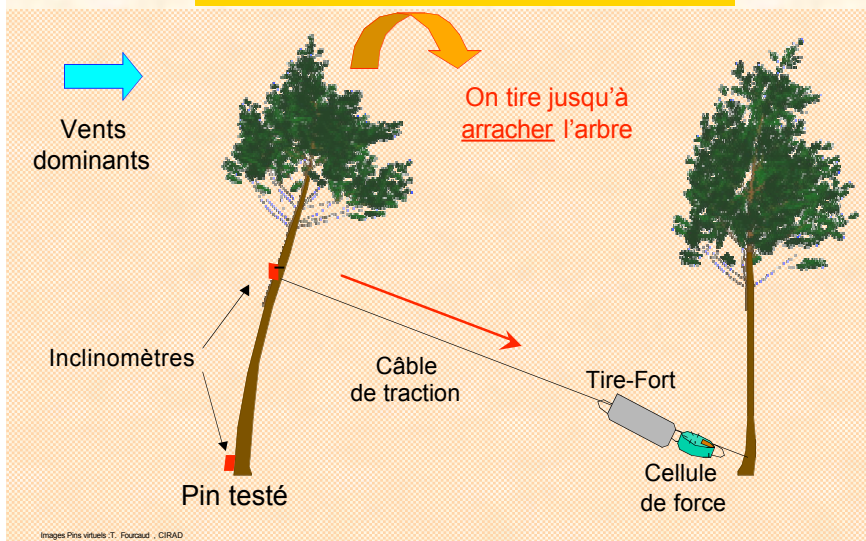
• 100 pins testés

• 12 - 56 cm DBH, 15 - 56 ans

• 71 pins déracinés

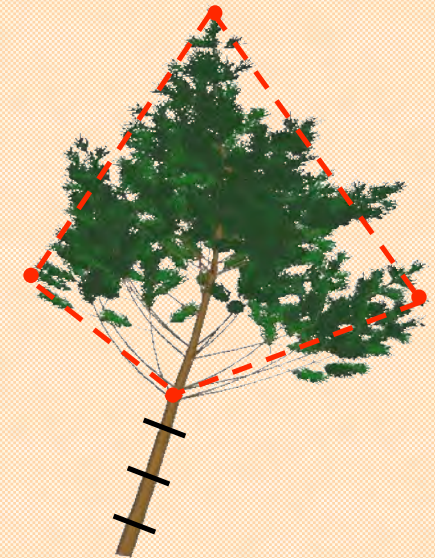
• 27 pins cassés dont 21 sans alios

#### Mesures de moment de renversement

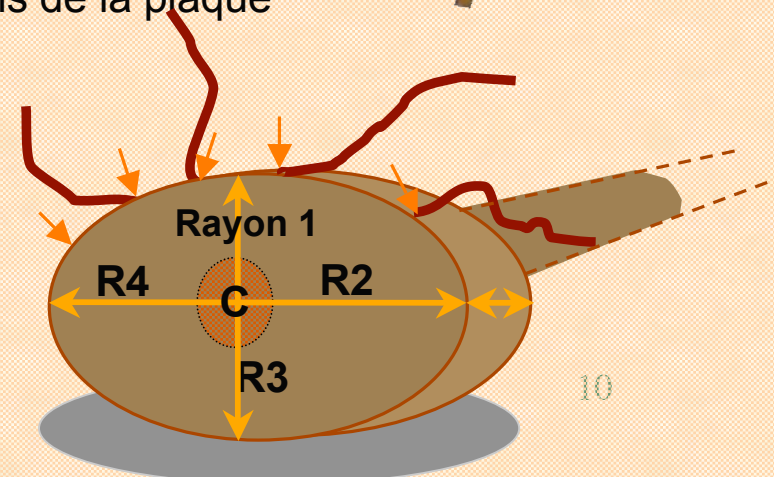


#### Mesures dendrométriques

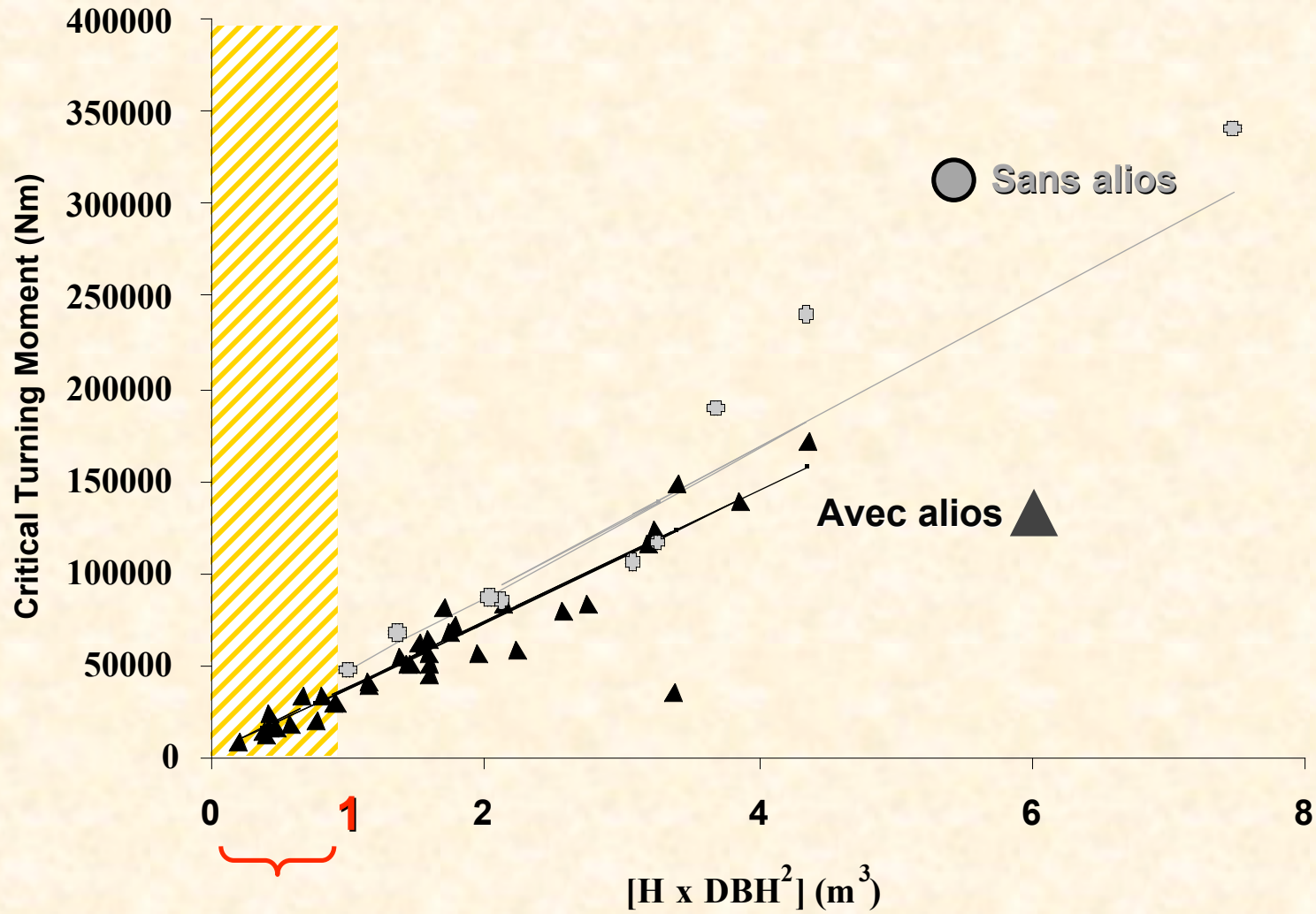
- Hauteur totale
- Hauteur de houppier
- Surface de houppier
- Biomasse de branches vivantes
- Circonférences le long du tronc
- Dimensions et poids de tige



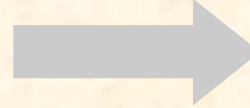
- Dimensions de la plaque racinaire



Le modèle d'ancrage



Apporter des éléments  
d'aide aux gestionnaires



### 1 - Phase observatoire

#### Dégâts de tempête

- Influence de la sylviculture
- Disparités intra-peuplement dans la résistance au vent



### 2 - Phase expérimentale

#### Etude de l'ancrage

- Influence du sol
- Influence de l'exposition aux vents dominants

### 3 - Modélisation de la résistance au vent



Modèle empirique d'ancrage

## Fonctionnement de ForestGALES

### Entrées

- **Table de production classique**  
Caractéristiques du peuplement au temps t, individu moyen
- **Contexte sylvicole**  
Options de choix

### ForestGALES

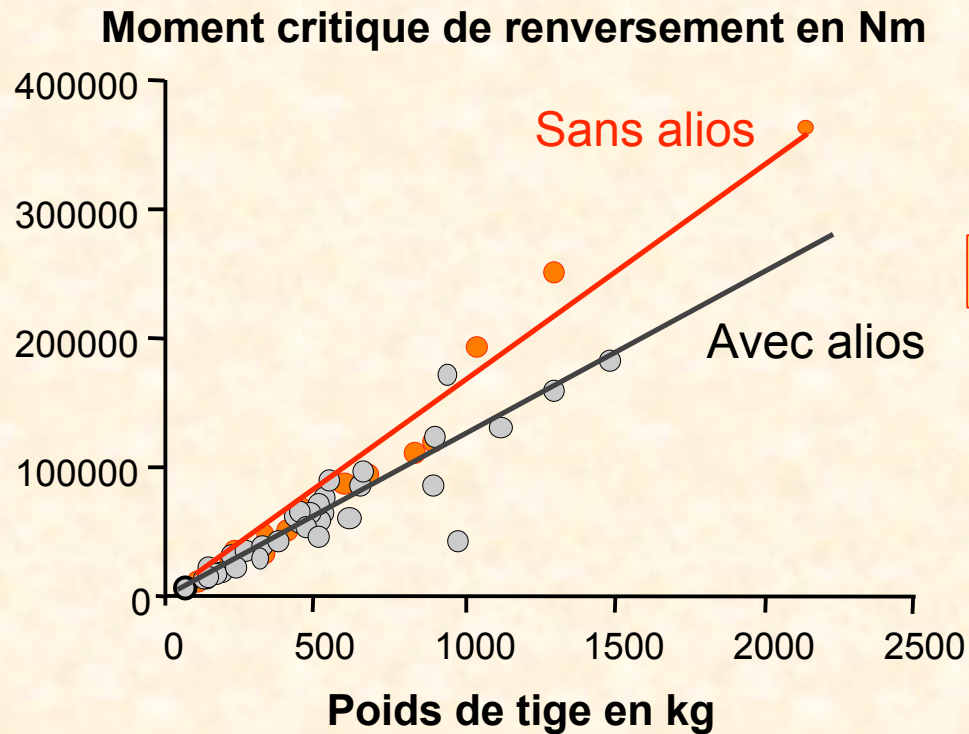
= modèles **mécanistes** et **empiriques**

- 1 - force requise pour **déraciner/casser l'arbre moyen** du peuplement (**Moments critiques**)
- 2 - **vitesses de vent** générant cette force (**Moment de flexion**)
- 3 - **périodes de retour** de ces 2 vitesses (Distribution de la **probabilité d'occurrence** d'un vent en fonction de sa vitesse)

### Sorties

**Vitesses critiques + périodes de retour** pour l'**arbre moyen** du peuplement à chacune des dates considérées de la vie du peuplement

## 1 - Modèles d'ancrage selon conditions de sol



**pente** de la régression

$$\text{MCR} = \underline{a} \times \text{Poids de tige}$$

pour chaque condition de sol  
avec ou sans alios + global



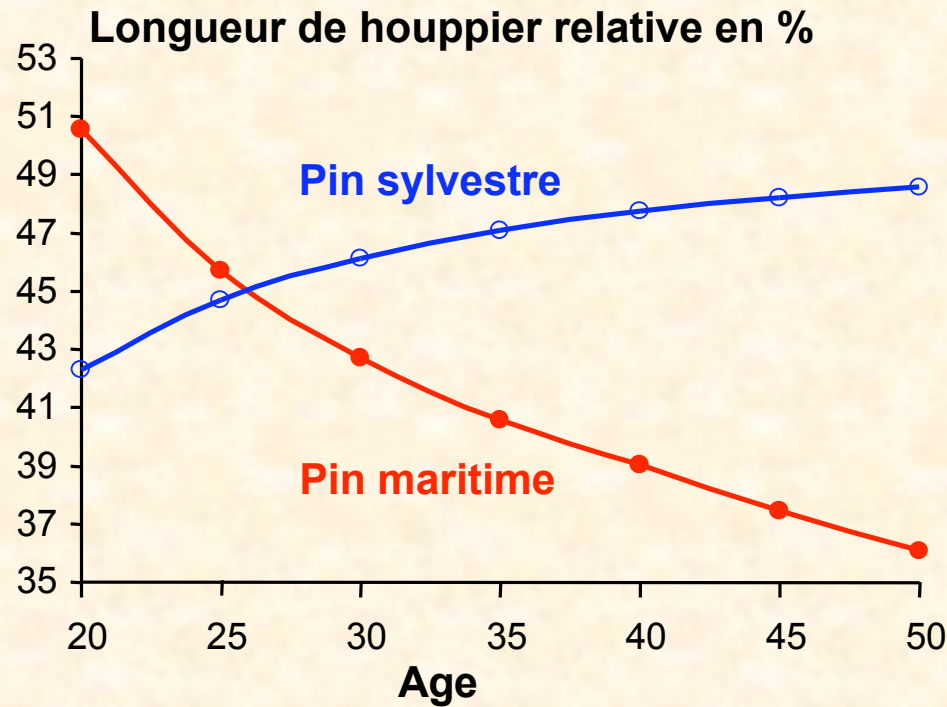
## Prédiction du Moment Critique de Renversement

2 - Modèles dendrométriques

- Longueur de houppier



$$HFLB = (hauteur - 1.3) e^{p1 + \frac{p2}{Age} \left( \frac{DBH}{(hauteur - 1.3)} \right)}$$



- Largeur de houppier



Régression linéaire  
variable indépendante = DBH

### Implémentation pour l'espèce :

1 - Modèle ancrage racinaire

2 - Modèles dendrométriques

3 - Valeurs de paramètres spécifiques

- poids de tige

- dimensions et poids du houppier

**à estimer à partir des variables d'entrée**



Moment de flexion

Moment critique de renversement

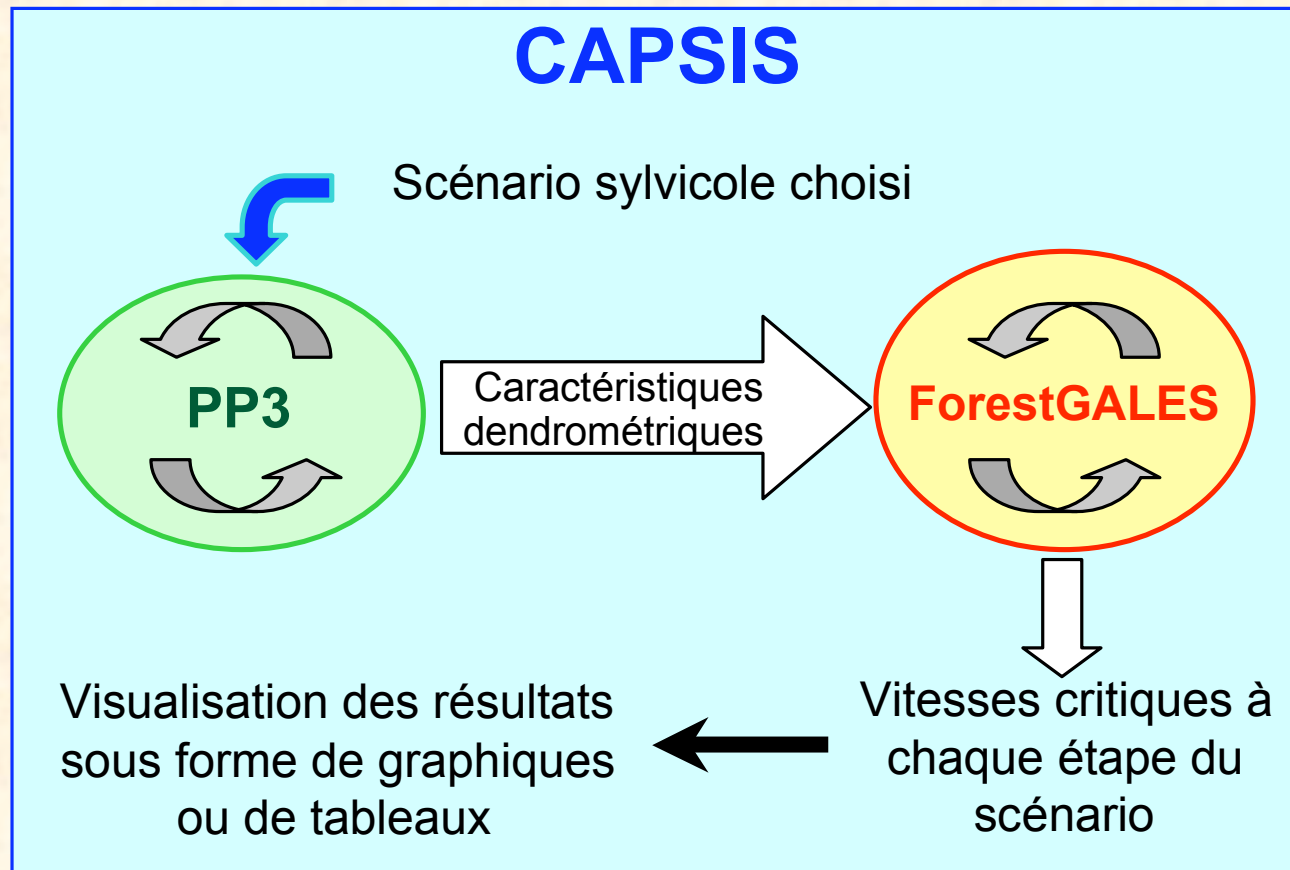
Moment critique de casse



### Connexion entre ForestGALES et CAPSIS-PP3

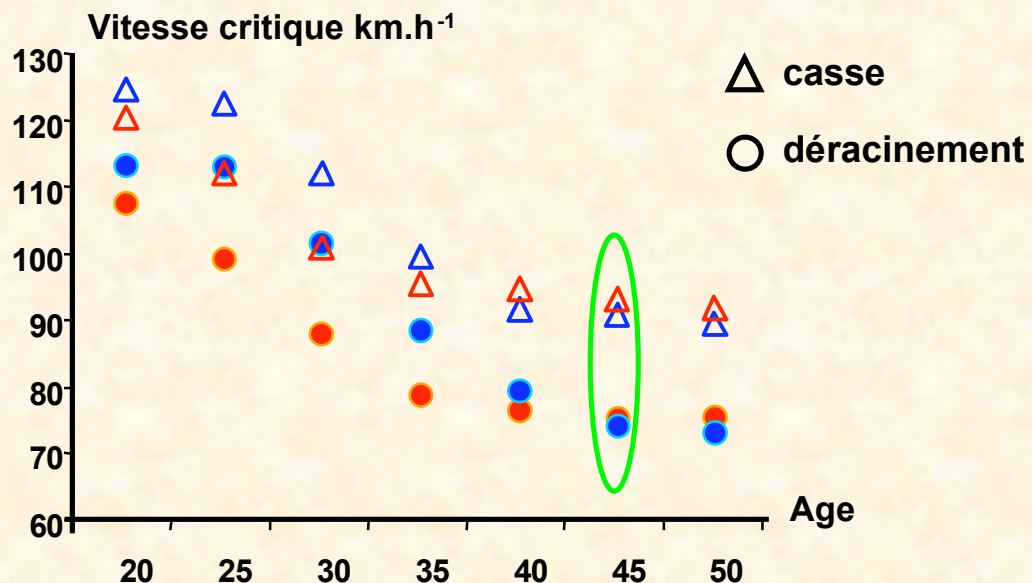
PP3 fournit les variables en entrée à la place des tables de production

- génère les caractéristiques de peuplements soumis à autant de scénarios sylvicoles voulus

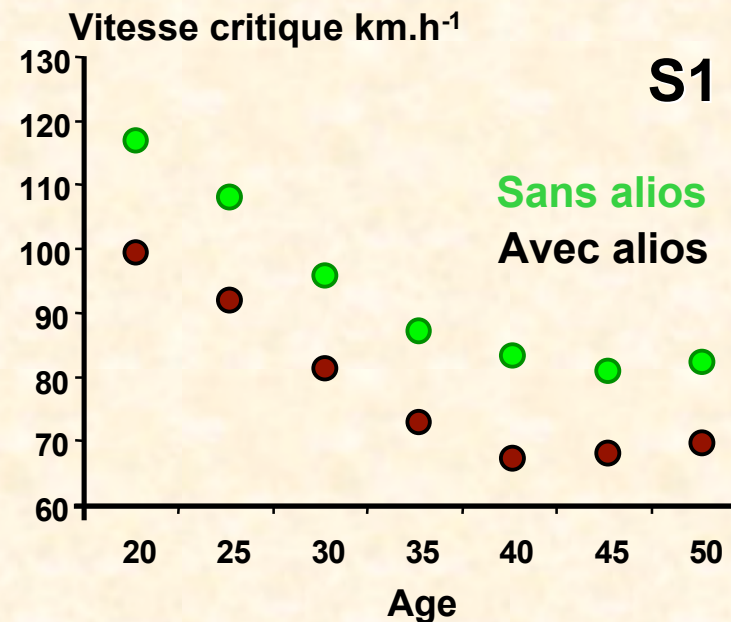
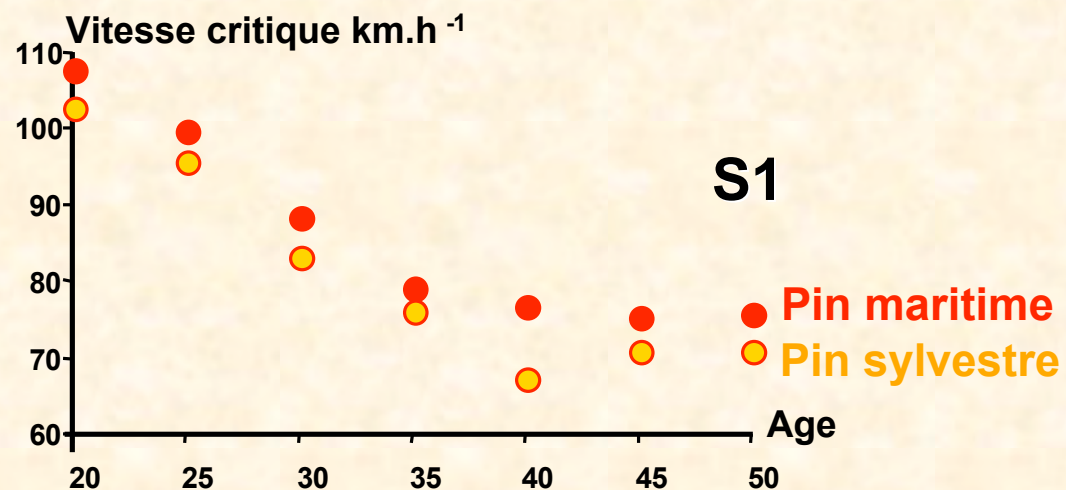


# Modélisation des vitesses critiques de vent

## Simulations effectuées à l'aide de la connexion



	S1	S2
Densité initiale t/ha	1250	1500
Densité finale t/ha	300	300
Nombre d'éclaircies	4	5





- La **résistance** au vent du peuplement **diminue avec l'âge**
- Principal dégât = **déracinement**
- Espacement : importance de la **pénétration du vent**

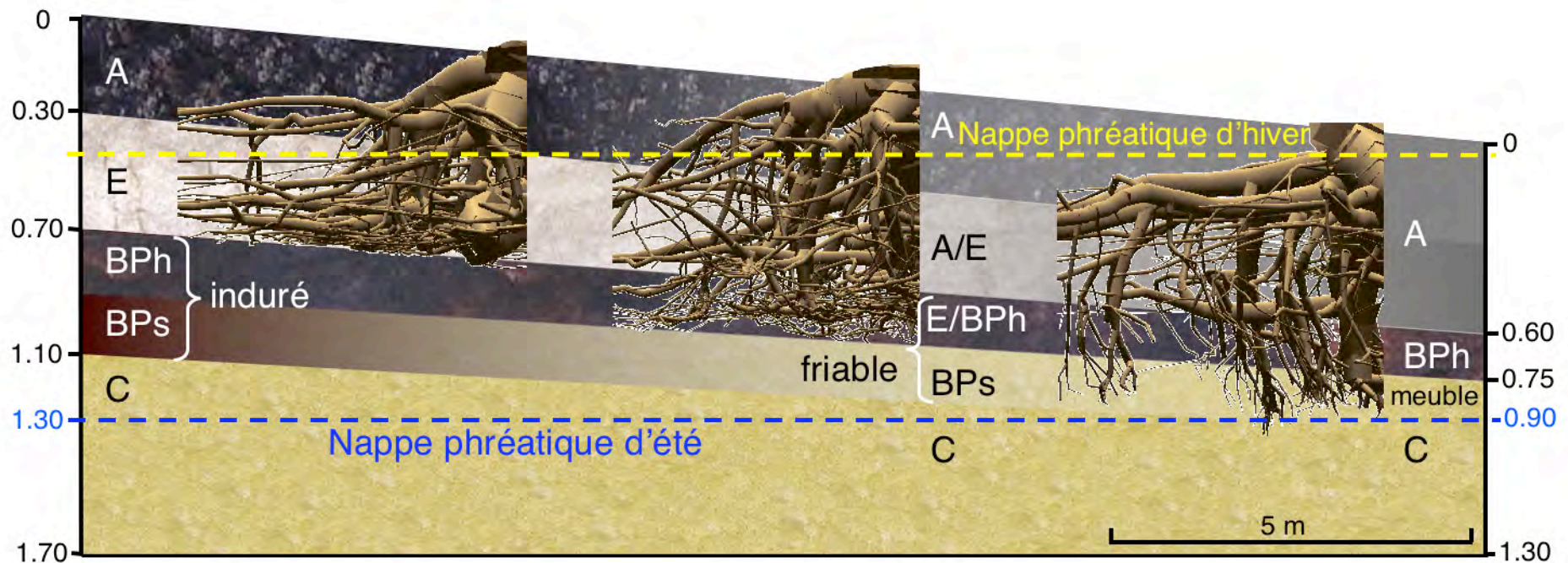


Cohérent avec les observations réalisées sur les dégâts

- **Forte influence** de la **pente** de la régression sur prédictions
- **Faible influence** des **dimensions de houppier**

## Principales avancées

- **Obtention** d'un **modèle de prédiction** des vitesses critiques
- **Caractérisation de l'ancrage racinaire** sur des pins maritime **adultes**
  - mécanique de déracinement
  - facteurs de variabilité intra-peuplement



Images et graphiques: Danjon, Bert, Fourcaud

améliorations à envisager ?



Notion de risques :

- **Prédire les périodes de retour**

### Échelles

Niveau de complexité plus important

- **Passer au niveau arbre?**

= simuler les vitesses critiques pour chaque arbre d'un peuplement

Niveau de complexité plus important

- **Passer au niveau massif?**

= simuler les vitesses critiques pour un agencement de parcelles



Intérêts?

## *Comment gérer le risque?*

Outil quantitatif de prédiction du risque



## **Stratégies de prévention**

- Risque cumulé et/ou risque ponctuel :
  - cycle de vie du peuplement
- Prise de décision : gains/pertes potentiels